苦豆子碱和烟碱的联合杀蚜作用

霍　鑫[1,3], 穆荣娟[1], 何　军[1,2], 周一万[1,2], 马志卿[1,2,*], 张　兴[1,2]

(1. 西北农林科技大学无公害农药研究服务中心,陕西杨凌 712100; 2. 陕西省生物农药工程技术研究中心,陕西杨凌 712100; 3. 新疆阿勒泰地区农业技术推广中心,新疆阿勒泰 836500)

摘要:【目的】以豆蚜 *Aphis craccivora* Koch 为试虫,对苦豆子碱和烟碱的联合杀蚜活性进行了测定,以期为开发新型植物源杀蚜剂奠定基础。【方法】单体化合物对豆蚜的毒力测定采用微量点滴法;制剂对豆蚜的毒力测定采用波特喷雾法;田间药效试验参照国家标准进行,其中施药方法采用常量喷雾法;制剂加工及化合物之间的联合杀蚜作用测定均采用常规方法。【结果】苦豆子碱和烟碱混用具有明显的杀蚜增效作用,在最佳质量配比(苦豆子碱: 烟碱 = 13: 1)下,共毒系数(common-toxicity coefficient, CTC)值达 185.82。结合对溶剂、乳化剂等助剂的筛选,研制出 15.7% 苦豆子碱 · 烟碱环保型乳油,配方为:苦豆子碱(14.6%)、烟碱(1.1%)、环保溶剂(74.3%)、乳化剂(10%)。质量检测结果表明该制剂各项指标均达到商品农药的要求。大田药效试验表明,该制剂在质量浓度为 0.354 g/L 时,常量喷雾,药后 7 d 对月季长管蚜 *Macrosiphum rosirvorum* 的防效仍为 85.91%。【结论】苦豆子碱和烟碱混用具有显著的杀蚜相互增效作用,具有进一步开发潜力。

关键词: 豆蚜; 植物源杀蚜剂; 苦豆子碱; 烟碱; 杀蚜活性; 月季长管蚜

中图分类号: Q965.9　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 0454-6296(2014)05-0557-07

Joint aphidicidal action of alkaloids of *Sophora alopecuroides* L. and nicotine

HUO Xin[1,3], MU Rong-Juan[1], HE Jun[1,2], ZHOU Yi-Wan[1,2], MA Zhi-Qing[1,2,*], ZHANG Xing[1,2] (1. Research & Development Center of Biorational Pesticids, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Research Center of Biopesticide Engineering & Technology, Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Xinjiang Altay Region Agricultural Technology Extension Center, Altai, Xinjiang 836500, China)

Abstract:【Aim】In order to develop new botanical aphicides, the joint aphidicidal action of alkaloids of *Sophora alopecuroides* L. and nicotine against *Aphis craccivora* Koch was evaluated systematically indoors and outdoors.【Methods】Toxicities of monomeric compounds to *A. craccivora* were tested by topical application method. Potter spray method was adopted to test the toxicity of aphicide formulation to *A. craccivora*. Constant spray method was used in the field efficacy trial, which was conducted according to the national standard. Moreover, pesticide formulation processing and the measurement of the joint aphidicidal action of alkaloids of *S. alopecuroides* and nicotine were performed using the conventional methods.【Results】The mixture of alkaloids of *S. alopecuroides* and nicotine showed significant synergism in the aphicidal activity aqainst *A. craccivora*, with the common-toxicity coefficient (CTC) value of 185.82 when the optimal ratio of total alkaloids to nicotine (13: 1, w/w) was used. Based on screening on solvent and emulsifier, 15.7% total alkaloids · nicotine (TAN) emulsifiable concentrate (EC) was developed, which consisted of 14.6% alkaloids of *S. alopecuroides*, 1.1% nicotine, 74.3% solvent and 10% emulsifier. Quality tests confirmed that this formulation met the requirements as a commercial product. Moreover, experiments in fields showed that 0.354 g/L 15.7% TAN EC maintained 85.91% control effect on *Macrosiphum rosirvorum* at 7 d after application.【Conclusion】The mixture of alkaloids of *S. alopecuroides* and nicotine can significantly increase the aphidicidal efficacy each other and has the potential to be further developed.

基金项目: 陕西省 2013 年留学人员科技活动项目择优资助项目; 有机茶叶专用杀虫剂研制与开发(2012KTCQ02-06)

作者简介: 霍鑫, 女, 1987 年 7 月生, 新疆阿勒泰人, 硕士研究生, 主要从事植物源杀蚜剂的研究, E-mail: huoxin17951@nwsuaf.edu.cn

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: mazhiqing2000@126.com

收稿日期 Received: 2014-03-16; 接受日期 Accepted: 2014-04-13

Key words: *Aphis craccivora*; botanical aphicides; *Sophora alopecuroides* alkaloids; nicotine; aphicidal activity; *Macrosiphum rosirvorum*

蚜虫隶属半翅目蚜科,是一类重要的农业害虫,具有种类多、数量大、繁殖快、危害重及分布范围广等特点,不仅可直接吸食植物的营养成分,而且可传播多种植物病毒,其分泌的蜜露还可以引起煤污病等(Blackman and Eastop, 2006; Edwards *et al*., 2008; Dedryver *et al*., 2010)。全球每年由于蚜虫造成的经济损失达数亿美元(Oerke, 1994)。然而,长期以来的化学防治已使蚜虫几乎对常用化学杀虫剂均产生了抗药性(Ahmad and Arif, 2008; Will and Vilcinskas, 2013)。尤其是棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 和桃蚜 *Myzus persicae* Sulzer 的抗药性更为严重,棉蚜已经对氨基甲酸酯类、有机磷类和拟除虫菊酯类杀虫剂产生了极强的抗性,桃蚜也对至少 70 多种不同的合成化学药剂产生了抗性(Moores *et al*., 1996; Silva *et al*., 2012)。鉴于上述问题,蚜虫的防治在农业生产中极为困难。

从天然资源库中寻找和研发新型杀蚜剂,已成为新农药创制的热点之一,也是寻求化学杀蚜剂替代品的主要途径(Bala *et al*., 1999; 邹先伟和蒋志胜,2004;Copping and Duke, 2007)。烟碱是一种历史悠久的植物源杀虫剂,具有熏蒸、胃毒及触杀作用,且可迅速降解,对于桃蚜等多种蚜虫防效优良。苦豆子 *Sophora alopecuroids* 为豆科(Leguminosae)槐属 *Sophora* 多年生草本植物,其主要活性成分为生物(苦豆子碱)(Gao *et al*., 2011),在农业上表现出多种活性,如杀虫、抗病毒、抑菌和除草等(罗万春等,1997; 李艳艳等,2005;Akhtar *et al*., 2008)。尽管植物源杀虫剂具有安全的特点,但其药效往往要差于化学合成杀虫剂。为此,在植物源杀虫剂开发中,通过科学的复配试验,获得高活性的增效组合是提高植物源农药实际应用价值的重要手段,如已开发成功的 1% 苦参碱·印楝素乳油、27.5% 烟碱·油酸乳油、2.7% 莨菪碱·烟碱悬浮剂及 10% 除虫菊素·烟碱乳油等(何军等,2006; Abd EL-Mageed and Shalaby, 2011;王运儒等,2012)。对苦豆子碱而言,其杀蚜活性与烟碱相比有较大差异,但该植物源化合物的自然资源非常丰富,且其杀虫机理比较复杂(罗万春等,1997)。为进一步开发利用该植物资源,有必要开展增效复配研究。

西北农林科技大学无公害农药研究服务中心在植物源化合物增效混配筛选试验中发现苦豆子碱和烟碱之间存在一定的杀蚜相互增效作用。基于此,本研究以豆蚜 *Aphis craccivora* Koch 为试虫,根据农药混配原理对其增效复配作用进行了较为系统地研究,并初步研制出了 15.7% 苦豆子碱·烟碱环保型乳油,现将试验结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 试验时间和地点

本研究室内试验于 2012 年 5 月 -2013 年 5 月在西北农林科技大学无公害农药研究服务中心进行,田间试验于 2013 年 6 月在西北农林科技大学园艺站进行。

1.2 试验材料

豆蚜 *A. craccivora*,西北农林科技大学无公害农药研究服务中心室内(温度 20 ~ 26℃,相对湿度 60% ~70%,光周期 14L∶10D)饲养的敏感种群,试验时选取虫体大小一致的健康无翅成蚜供试。月季长管蚜 *Macrosiphum rosirvorum* 为西北农林科技大学园艺站内月季上的自然种群。

苦豆子碱(94.61%),由内蒙古鄂尔多斯金驼药业有限公司提供;烟碱(≥ 98%),购自 Aladdin 试剂公司;5% 吡虫啉乳油,河南普朗克生化工业有限公司生产;溶剂和助溶剂均为工业品,购自陕西农资市场。

1.3 生物活性测定

单体化合物对豆蚜的毒力测定采用微量点滴法;制剂对豆蚜的毒力测定采用波特喷雾法。每处理设 5 个浓度,重复 3 次。用机率值分析法求出毒力回归方程式,对方程进行 χ^2 检验并求出致死中量(致死中浓)及其 95% 置信限。

1.4 两种药剂联合毒力作用测定

参照吴文君(1988)的方法判断两种药剂混合后的相互作用,其中 c.f.(协同毒力指数)>20 时为增效作用,c.f. < -20 时为拮抗作用,-20 < c.f. < 20 时为相加作用。

1.5 混剂增效配比的确定及增效作用测定

生物测定方法同 1.3 节。参照张宗炳(1988)方法筛选混剂的最佳配比,在此基础上系统测定各单剂及混剂的毒力回归线和致死中量(LC_{50})。采用 Sun 氏法(吴文君,1988)求混剂的共毒系数(common-toxicity coefficient, CTC)。当 CTC > 120

时，为增效作用；CTC < 80 时为拮抗作用；80 < CTC < 120 为相加作用。

1.6　制剂研制及质量检测

溶剂、乳化剂筛选方法采用常规法。溶剂筛选过程中弃用三苯类及氯仿等高毒溶剂。乳化性能测定参照 GB/T1603-79（89）（国家标准总局，1979）对制剂的外观、乳化分散性及乳液稳定性进行检测，乳化分散性包括乳油的分散性和初乳态两个方面，其评价指标分为5级，具体为：

I级：乳油滴入水中迅速自动地分散成带蓝色荧光的云雾状分散体系，稍加搅动可成淡蓝色或浅白色透明乳状液；

II级：乳油滴入水中自动地分散成带蓝色荧光的云雾状分散体系，稍加搅动成淡蓝色半透明乳状液；

III级：乳油滴入水中成白色云雾状或丝状分散，稍加搅动后成蓝色不透明乳状液；

IV级：乳油滴入水中成白色微粒状下沉，稍加搅动后成白色不透明乳状液；

V级：乳油滴入水中成油珠状下沉，搅动后能乳化，但很快又析出油状物并沉淀。

上述标准中，I～III级为合格，IV和V级为不合格。

冷、热贮稳定性以常规方法（南京钟山化工厂，1982）进行。

1.7　田间药效试验

防治月季长管蚜田间药效试验在西北农林科技大学园艺站进行。试验设15.7%苦豆子碱·烟碱乳油0.785，0.354和0.261 g/L等3个处理，以0.05 g/L的5%吡虫啉乳油为对照药剂，并设清水对照。田间施药采用常量喷雾法。小区面积20 m^2，随机排列，并设保护行，重复3次。每小区定株标记10片有蚜叶片，调查全叶蚜量。药前调查虫口基数，药后1，3及7d调查活虫数，以Handerson公式（吴文君，1988）计算防治效果，并用“DMRT”法进行显著性测定。

1.8　数据统计与分析

采用Abott公式进行死亡率校正（Abbot，1925）：

死亡率（%）= 死亡虫数/供试虫数 × 100；

校正死亡率（%）=（处理死亡率 − 对照死亡率）/（1 − 对照死亡率）× 100。

采用机率值分析法计算毒力回归方程式，对方程进行 χ^2 检验，并求出致死中量和致死中浓度及其95%置信限（Finney，1971），利用SPSS16.0统计软件对数据进行统计分析。

2　结果与分析

2.1　苦豆子碱和烟碱对豆蚜的室内毒力

采用微量点滴法，测定了苦豆子碱和烟碱对豆蚜的室内毒力（表1），二者对豆蚜均具有较好的毒杀作用，24 h的 LD_{50} 分别为0.144 μg/虫和0.007 μg/虫。

表1　苦豆子碱和烟碱对豆蚜的室内生物测定结果（24 h）

Table 1　Contact toxicity of nicotine and *Sophora alopecuroides* alkaloids to *Aphis craccivora*（24 h）

供试药剂 Botanical substances	毒力方程 Toxicity regression equation	致死中量 LD_{50}（μg/individual）	95%置信区间 95% CL（μg/individual）	χ^2
烟碱 Nicotine	$y = -3.312 + 1.582x$	0.007	0.005－0.01	1.506
苦豆子碱 *S. alopecuroides* alkaloids	$y = -10.909 + 3.221x$	0.144	0.120－0.166	0.703

2.2　苦豆子碱和烟碱混用的协同毒力指数（c.f.）

以定量的苦豆子碱和烟碱混用测定混合物对豆蚜的活性，并求c.f.值。见表2。由结果（表2）可看出，0.1 mg/mL苦豆子碱和2 mg/mL烟碱混配后的c.f.值达37.00，大于20，说明该混配组合具有明显的增效作用。

2.3　苦豆子碱和烟碱混剂的合理配比

根据上述结果，通过生物测定进一步探讨苦豆子碱和烟碱间的最佳配比。测定结果（表3）表明，苦豆子碱与烟碱不同配比混合后均具有一定的增效作用，但在40∶60时（二者 LD_{50} 的比值），即质量比实为13∶1时，毒性比率最高，达1.56。

2.4　苦豆子碱和烟碱混配药剂的共毒系数（CTC）

通过苦豆子碱、烟碱及苦豆子碱与烟碱混配药剂（有效成分质量比为13∶1）对豆蚜的毒力测定，以孙云沛法计算出其共毒系数（表4）为185.82，大于120，说明该组合增效作用明显。

表 2 苦豆子碱和烟碱混用的协同毒力指数(c. f.)

Table 2 Cooperative virulence index (c. f.) of mixtures combined by 2 compounds to *Aphis craccivora*

组合 Combinations	理论死亡率(%) Theoretical mortality	实际死亡率(%) Actual mortality	c. f.
苦豆子碱(0.1 mg/mL) + 烟碱 (2 mg/mL) *S. alopecuroides* alkaloids (0.1 mg/mL) + nicotine(2 mg/mL)	63.26	86.67	37.00

表 3 苦豆子碱和烟碱不同配比对豆蚜的生物测定结果

Table 3 Toxicity of mixtures of *Sophora alopecuroides* alkaloids and nicotine at different ratios to *Aphis craccivora*

LD_{50}(%)(苦豆子碱: 烟碱) (*S. alopecuroides* alkaloids: nicotine)	实测死亡率(%) Actual mortality	预期死亡率(%) Theoretical mortality	毒性比率 Toxicity ratio
0:100	48.00	48.00	1.00
10:90	54.00	48.20	1.12
20:80	58.00	48.40	1.20
30:70	60.00	48.60	1.23
40:60	76.00	48.80	1.56
50:50	76.00	49.00	1.55
60:40	70.00	49.20	1.42
70:30	66.00	49.40	1.34
80:20	66.00	49.60	1.33
90:10	54.00	49.80	1.08
100:0	50.00	50.00	1.00

表 4 苦豆子碱与烟碱及其复配制剂对豆蚜室内毒力测定结果

Table 4 Toxicity of total alkaloid, nicotine and 15.7% total alkaloid · nicotine emulsifiable concentrate to *Aphis craccivora*

供试药剂 Pesticides	毒力方程 Toxicity regression equation	致死中量 LD_{50} (μg/individual)	95%置信区间 95% CL(μg/individual)	χ^2	CTC
苦豆子碱 *S. alopecuroides* alkaloids	$y = -10.909 + 3.221x$	0.144	0.120 - 0.166	1.378	-
烟碱 Nicotine	$y = -3.312 + 1.582x$	0.007	0.005 - 0.010	0.841	-
混配制剂 Mixture of *S. alopecuroides* alkaloids and nicotine	$y = -5.396 + 2.154x$	0.0336	0.0256 - 0.0416	1.016	185.82

CTC: 共毒性系数 Common-toxicity coefficient.

2.5 15.7%苦豆子碱·烟碱环保乳油的研制

2.5.1 溶剂的筛选:溶剂筛选(表5)表明,苦豆子碱和烟碱在甲醇、乙醇等多种溶剂中都有较好的溶解性,但考虑到部分溶剂高毒、极易挥发、高成本、稳定性能较差等因素,故选用乙醇作为溶剂。另外,为降低有机溶剂的用量,满足制剂环保化要求,对乙醇与植物精油Ⅱ混合溶剂的溶解性及低温稳定性进行了测试,最终选定1:4(v/v)的乙醇和植物精油Ⅱ的混合物作为环保乳油制剂的溶剂。

2.5.2 乳化剂的筛选:对30种乳化剂进行了初步筛选,发现使用单种乳化剂后,乳油的外观、分散性、乳化性及稳定性都欠佳。从中选取乳化性能相对较好的乳化剂Ⅰ和乳化剂Ⅱ,按照不同比例混配,经反复测试,发现当乳油中乳化剂的含量为10%,二者以2:8~3:7混用时,乳化效果较好。基于此,在此

表 5 溶剂筛选结果

Table 5 Solutions of the mixture of *Sophora alopecuroides* alkaloids and nicotine

溶剂 Solvents	溶解性 Solubility
丙酮 Acetone	+++
乙酸乙酯 Ethyl acetate	+
二甲基亚砜 Dimethyl sulfoxide	+++
环己酮 Cyclohexanone	+
正丁醇 N-butyl alcohol	++
精油Ⅰ Essential oil Ⅰ	-
精油Ⅱ Essential oil Ⅱ	+
环己烷 Cyclohexane	-
乙醇 Ethyl alcohol	+++
甲醇 Methyl alcohol	+++
二氯甲烷 Dichloromethane	-
DMF Dimethyl formamide	+++

-: 基本不溶解 Not soluble; +: 微溶 Slightly soluble; ++: 溶解 Soluble; +++: 易溶 Free soluble.

范围内，进一步设置了不同比例，测试乳油的乳化性，并检测其冷、热贮稳定性。结果（表 6）表明，当二者分别占乳油体积比的 2.4% 和 7.6% 时，分散性和乳化性均达到二级，且稳定性最好。

表 6　乳化剂 Ⅰ 和乳化剂 Ⅱ 不同体积比对乳油性能的影响

Table 6　Influence of different volume ratios of emulsifier Ⅰ and emulsifier Ⅱ on the properties of emulsifiable concentrate (EC)

乳化剂Ⅰ(%)：乳化剂Ⅱ(%) Emulsifier Ⅰ(%)：emulsifier Ⅱ(%)	分散性 Dispersibility	乳化性 Emulsibility	稳定性 Stability
2.8:7.2	Ⅲ	Ⅱ	差 Unstable
2.6:7.4	Ⅲ	Ⅱ	差 Unstable
2.4:7.6	Ⅱ	Ⅱ	稳 Stable
2.2:7.8	Ⅱ	Ⅱ	差 Unstable

Ⅰ：易乳化 Very emulsible；Ⅱ：较易乳化 Freely emulsible；Ⅲ：可乳化 Emusible；Ⅳ：较难乳化 Sparingly emulible；Ⅴ：难乳化 Practically not emusible.

2.6　15.7%苦豆子碱·烟碱乳油的质量检测

通过上述实验，最终确定 15.7% 苦·烟乳油配方为：苦豆子碱（14.6%）、烟碱（1.1%）、溶剂（74.3%）、乳化剂（10%）。采用常规方法结合生物活性测定法进行质量检测，结果（表 7～8）表明，15.7% 苦·烟乳油的各项指标均为合格，达到商品农药要求标准。

表 7　15.7%苦·烟乳油质量检测结果

Table 7　Quality index of 15.7% total alkaloids · nicotine emulsifiable concentrate

检测指标 Item	检测结果 Results
外观 Appearance	单相透明液体
冷贮稳定性 Cold storage stability	均一不分层，无沉淀且通过乳液稳定性及乳化分散性测试后合格
热贮稳定性 Hot storage stability	均一透明，无沉淀浮油；且通过乳液稳定性及乳化分散性测试后合格
乳液稳定性 Emulsion stability	上无浮油，下无沉淀
乳化分散性 Emulsifying dispersion	达到乳化 Ⅱ 级
酸碱度 pH	7.0－8.0

2.6　15.7%苦·烟乳油防治蚜虫的田间药效试验

2013 年 6 月，在陕西杨凌进行了 15.7% 苦·烟乳油防治月季长管蚜的田间药效试验，结果见表 9。从表 9 可看出，15.7% 苦·烟乳油在田间对月季长管蚜表现出较好的防治效果，在 0.785 g/L 质量浓度下，7 d 后防效高达 93.26%，与 0.05 g/L 5% 吡虫啉乳油的防效相当；在 0.354 g/L 质量浓度下 7 d 的防效也在 85% 以上，显示出一定的持效期。

表 8　15.7%苦·烟乳油热贮前后的室内毒力测定结果

Table 8　Toxicity of 15.7% total alkaloids · nicotine (TAN) emulsifiable concentrate (EC) before and after hot storage to *Aphis craccivora*

供试药剂 Pesticides	毒力方程 Toxicity regression equation	致死中浓度 LC_{50} (mg/L)	95% 置信区间 95% CL (mg/L)	χ^2
15.7% 苦·烟乳油热贮前 15.7% TAN EC before hot storage	$y = -4.711 + 1.705x$	90.874	62.437－116.110	0.154
15.7% 苦·烟乳油热贮后 15.7% TAN EC after hot storage	$y = -4.237 + 1.527x$	93.336	71.086－127.283	1.935

表 9　15.7%苦·烟乳油对月季长管蚜的田间药效试验结果（陕西杨凌，2013 年 6 月）

Table 9 Efficiency of 15.7% total alkaloid · nicotine (TAN) emulsifiable concentrate (EC) on *Macrosiphum rosirvorum* in field (Yangling, Shaanxi, June 2013)

药剂名称 Pesticides	浓度(g/L) Concentration	校正防效 Corrected control effect (%)		
		药后 1 d 1 d after pesticide application	药后 3 d 3 d after pesticide application	药后 7 d 7 d after pesticide application
15.7% 苦·烟乳油 15.7% TAN EC	0.785	88.67 b	93.71 ab	93.26 a
	0.354	79.45 c	87.78 b	85.91 b
	0.261	71.26 c	68.54 c	59.13 c
5% 吡虫啉乳油 5% Imidacloprid EC	0.05	96.34 a	98.06 a	94.33 a

表中数据为 3 次重复的平均值；表中同一列数据后标不同字母表示在 5% 水平上显著差异（LSD 检验）。Data are given as mean of 3 duplications, and means within a column followed by different letters are significantly different at the 0.05 level (LSD test).

3 讨论

蚜虫的抗药性问题是导致对其防治失败的主要原因。据 Insecticide Resistance Action Committee (IRAC)的建议,采用作用机理不同的杀虫剂轮用是进行害虫抗药性治理的主要措施(http://www.irac-online.org/)。基于此原理,以作用机理不同的杀虫剂进行增效复配研究是治理害虫抗药性较为实际的手段(王心如等,2000;董代文等,2000)。烟碱的杀虫靶标是乙酰胆碱受体(吴文君,2000),而苦豆子碱可能作用于多个靶标(罗万春等,1997)。理论上来说,该2种药剂混用可用于抗性蚜虫的治理。本研究表明,苦豆子碱与烟碱复配具有明显的杀蚜相互增效作用,当苦豆子碱与烟碱以质量比13∶1混配时,增效最显著。结合室内生物活性测定和田间药效试验,最终研发出的15.7%苦·烟乳油对蚜虫具有良好的防效。尽管该效果远差于对照药剂5%吡虫啉乳油,然而鉴于多种蚜虫已对吡虫啉产生了抗药性,且该制剂为纯植物源杀蚜剂,从安全角度考虑,15.7%苦·烟乳油具一定的开发应用潜力。此外,烟碱的杀虫靶标与吡虫啉一样,均为乙酰胆碱受体。当苦豆子碱与烟碱以质量比13∶1混配时,大大降低了烟碱的用量,从抗性治理的角度来看,也具有较强的实践应用价值。另外,该杀蚜剂与2.5%鱼藤酮乳油400倍液及1%除虫菊素·苦参碱微囊悬浮剂800倍液的田间药效相当(潘悦等,2013)。可见,该药剂在蚜虫抗性治理中有很强的现实意义。当然,也应该进一步开展该药剂防治其他蚜虫的田间药效实验,以明确其防治谱及田间应用技术。此外,除了乳油这种剂型外,可根据农药剂型发展方向,尝试将苦豆子碱和烟碱增效组合加工成微乳剂、水剂等其他剂型。

本研究以豆蚜为试虫,明确了苦豆子碱和烟碱具有明显的杀蚜相互增效作用,然而在田间试验中未找到合适的大豆田进行田间药效实验。考虑到豆蚜和月季长管蚜均隶属蚜科,且苦豆子碱和烟碱对月季长管蚜也具有较强的毒杀作用(另文发表),因此在月季上进行了防治月季长管蚜的药效实验,一方面可验证该新型杀蚜剂的药效,另一方面也可作为防治谱筛选试验。月季长管蚜 *Macrosiphum rosirvorum* 属同翅目蚜科,分布于我国东北、华北、华东、华中等地,为害月季、野蔷薇、玫瑰、十姐妹等蔷薇属园林植物;该蚜虫在春、秋两季群居危害新梢、嫩叶和花蕾,使花卉生长衰弱,乃至不能开花(赵宁等,2012)。文献调研发现,目前国内对月季长管蚜的防治仍然以化学农药为主(马洪兵等,2006),仅有部分研究初步筛选了附子、骆驼蓬等几种植物提取物对其的毒杀活性(赵晓萌和曾召海,2005;白海燕等,2006)。本研究表明,15.7%苦·烟乳油在0.354 g/L质量浓度下(400倍稀释液)喷雾处理7 d后对月季长管蚜的田间防效仍在85%以上。可见,该药剂具有一定的田间应用价值。因此,为保障花卉安全生产及居家环境健康,有必要在月季等蔷薇属园林植物上,尤其是鲜切花生产中推广应用15.7%苦·烟乳油。

参考文献(References)

Abbot WS, 1925. A method for computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.*, 18: 265-267.

Abd EL-Mageed AEM, Shalaby SEM, 2011. Toxicity and biochemical impacts of some new insecticide mixtures on cotton leafworm *Spodoptera littoralis* (Boisd). *Plant Protection Science*, 47(4): 166-175.

Ahmad M, Arif MI, 2008. Susceptibility of Pakistani populations of cotton aphid *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) to endosulfan, organophosphorus and carbamate insecticides. *Crop Prot.*, 27: 523-531.

Akhtar Y, Yeoung YR, Isman MB, 2008. Comparative bioactivity of selected extracts from Meliaceae and some commercial botanical insecticides against two noctuid caterpillars, *Trichoplusia ni* and *Pseudaletia unipuncta*. *Phytochem. Rev.*, 7: 77-88.

Bai HY, Ma JL, Chen YR, 2006. The toxicity and pesticide effectiveness experiment of aconitic steep against the flower aphid. *China Agricultural Science Bulletin*, 22(2): 323-325. [白海燕, 马建列, 陈毅仁, 2006. 附子浸渍液对花卉蚜虫的毒力测定及药效试验. 中国农学通报, 22(2): 323-325]

Bala AEA, Delorme R, Kollmann A, Kerhoas L, Einhorn J, Ducrot PH, Augé D, 1999. Insecticidal activity of daphnane diterpenes from *Lasiosiphon kraussianus* (Meisn) (Thymelaeaceae) roots. *Pesticide Science*, 55(7): 745-750.

Blackman RL, Eastop VF, 2006. Aphid on the World's Herbaceous Plants and Shrubs. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, UK.

Copping LG, Duke SO, 2007. Natural products that have been used commercially as crop protection agents. *Pest Management Science*, 63(6): 524-554.

Dedryver CA, Le Ralec A, Fabre F, 2010. The conflicting relationships between aphids and men: a review of aphid damage and control strategies. *Comptes Rendus Biologies*, 333(6-7): 539-553.

Dong DW, Zheng YZ, Guo J, 2000. Analysis on mixture of pesticides and strategy of resistance. *Plant Doctor*, 13(4): 6-8. [董代文, 郑永忠, 郭建, 2000. 浅析农药混配与抗药性治理对策. 植物医生, 13(4): 6-8]

Edwards OR, Franzmann B, Thackray D, Micic S, 2008. Insecticide

resistance and implications for future aphid management in Australian grains and pastures: a review. *Animal Production Science*, 48: 1523－1530.

Finney DJ, 1971. Probit Analysis. 3rd ed. Cambridge University Press, Cambridge. 9－158.

Gao HY, Li GY, Wang JH, 2011. Studies on the dynamic accumulations of *Sophora alopecuroides* L. alkaloids in different harvest times and the appropriate harvest time. *J. Chromatogr. B*, 879: 1121－1125.

He J, Ma ZQ, Zhang X, 2006. Review of botanical pesticide. *Journal of Northwest A&F University* (*Natural Science Edition*), 34(9): 79－85.［何军，马志卿，张兴，2006. 植物源农药概述. 西北农林科技大学学报（自然科学版），34(9): 79－85］

Li YY, Feng JT, Zhang X, Hu LF, 2005. Advance in research of chemical ingredients from *Sophora alopecuroides* L. and its bioactivities. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 14(2): 133－136.［李艳艳，冯俊涛，张兴，胡林峰，2005. 苦豆子化学成分及其生物活性研究进展. 西北农业学报，14(2): 133－136］

Luo WC, Li YS, Mu LY, Zhao SH, 1997. The toxicities of the alkaloids from *Sophora alopecuroids* against turnip aphid and effect on several esterases. *Acta Entomol. Sin.*, 40(4): 358－365.［罗万春，李云寿，慕立义，赵善欢，1997. 苦豆子生物碱对萝卜蚜的毒力及其对几种酯酶的影响. 昆虫学报，40(4): 358－365］

Ma HB, Liu Y, Jiang SX, Sun YW, Huang GQ, 2006. Tests of abamectin and Shi-da on *Macrosiphum rosivorum* Zhang and *Diaphania perspectalis* Walker. *Shandong Forestry Science and Technology*, (2): 50－51.［马洪兵，刘玉，姜淑霞，孙运文，黄国强，2006. 阿维菌素和士达防治月季长管蚜及黄杨绢野螟试验. 山东林业科技，(2): 50－51］

Moores GD, Gao X, Denholm I, Devonshire AL, 1996. Characterisation of insensitive acetylcholinesterase in insecticide-resistant cotton aphids, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae). *Pestic. Biochem. Phys.*, 56(2): 102－110.

Nanjing Zhongshan Chemical Plant, 1982. Pesticide Emulsifier. Chemical Industry Press, Beijing.［南京钟山化工厂，1982. 农药乳化剂. 北京：化学工业出版社］

National Bureau of Standards, 1979. National Standard of the People's Republic of China. Determination Method of Emulsion Stability for Pesticide. GB/T 1603-79.［国家标准总局，1979. 中华人民共和国国家标准：农药乳剂稳定性测定方法. GB/T 1603-79］

Oerke EC, 1994. Estimated crop losses in wheat. In: Oerke EC, Dehne HW, Schonbeck F, Weber A eds. Crop Production and Crop Protection: Estimated Losses in Major food and Cash Crops. Elsevier, Amsterdam. 179－296.

Pan Y, Zeng FH, Zhang YW, Zhang XL, Sun YH, Deng GB, 2013. Control effect of four botanical pesticides against *Myzus persicae* and determination of their toxicity to *Harmonia axyridis*. *Journal of Yunnan Agricultural University* (*Natural Science*), 28(3): 302－305.［潘悦，曾凡海，张有伟，张晓龙，孙永华，邓国宾，2013. 4 种植物源杀虫剂对烟蚜的药效及其对异色瓢虫的毒力测定. 云南农业大学学报(自然科学版)，28(3): 302－305］

Silva AX, Jander G, Samaniego H, Ramsey JS, Figueroa CC, 2012. Insecticide resistance mechanisms in the green peach aphid *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) I: a transcriptomic survey. *PLoS ONE*, 7(6): e36810.

Wang XR, Zhang ZD, Wang SL, Xiao H, Zhou JW, Xu XK, 2000. Development and safety evaluation of health pesticides. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides & Equipments*, 6(4): 6－15.［王心如，张正东，王守林，肖杭，周建伟，徐锡坤，2000. 卫生杀虫剂的发展现状及安全性评价. 中华卫生杀虫药械，6(4): 6－15］

Wang YR, Zeng XN, Wang HT, Wang HS, 2012. Synergism of rotenone and azadirachtin against larvae of diamondback moth. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 28(36): 251－254.［王运儒，曾鑫年，王华堂，王惠杉，2012. 鱼藤酮与印楝素对小菜蛾幼虫的协同增效作用. 中国农学通报，28(36): 251－254］

Will T, Vilcinskas A, 2013. Aphid-proof plants: biotechnology-based approaches for aphid control. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.*, 136: 179－203.

Wu WJ, 1988. Introduction to Experimental Techniques of Plant Chemical Protection. Shaanxi Science and Technology Press, Xi'an.［吴文君，1988. 植物化学保护实验技术导论. 西安：陕西科学技术出版社］

Wu WJ, 2000. Principles of Pesticides. China Agriculture Press, Beijing.［吴文君，2000. 农药学原理. 北京：中国农业出版社］

Zhang ZB, 1988. Determination of Insecticide Toxicity: Principle, Method and Application. Science Press, Beijing.［张宗炳，1988. 杀虫药剂的毒力测定：原理·方法·应用. 北京：科学出版社］

Zhao N, Feng D, Yang B, 2012. Effects of mixed planting of non-host plant with *Rosa hybrida* on *Macrosiphum rosivorum* Zhang. *Guangdong Agricultural Sciences*, (7): 97－99.［赵宁，冯丹，杨斌，2012. 非寄主植物与月季混栽对月季长管蚜种群的影响. 广东农业科学，(7): 97－99］

Zhao XM, Zeng ZH, 2005. The research of the pesticidal activity on different *Peganum harmala* extractions. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 21(4): 278－279.［赵晓萌，曾召海，2005. 骆驼蓬植物的不同提取物杀虫活性研究. 中国农学通报，21(4): 278－279］

Zou XW, Jiang ZS, 2004. A review on biological constituents from plants against aphids. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 6(3): 1－7.［邹先伟，蒋志胜，2004. 植物源抗蚜活性物质的研究进展. 农药学学报，6(3): 1－7］

（责任编辑：赵利辉）

蓟马取食、机械损伤以及外源水杨酸甲酯和茉莉酸对菜豆叶片防御酶活性的影响

从春蕾，郅军锐*，廖启荣，莫利锋

（贵州大学昆虫研究所，贵州山地农业病虫害重点实验室，贵阳 550025）

摘要：【目的】探讨菜豆对昆虫取食防御反应的生化机制。【方法】研究了西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 取食、机械损伤以及外源水杨酸甲酯（MeSA）和茉莉酸（JA）处理后菜豆叶片防御酶活性的变化。【结果】西花蓟马取食、机械损伤及 MeSA 和 JA 处理均能明显提高过氧化物酶（POD）的活性，前 2 种处理 POD 活性在 72 h 上升到最高峰，而后 2 种处理则在 48 h 达到最高峰。蛋白酶抑制剂（PI）活性在西花蓟马取食后升高最明显。JA 途径关键酶脂氧合酶（LOX）和多酚氧化酶（PPO）的活性在西花蓟马取食、机械损伤和 JA 诱导处理均升高，但外源 MeSA 诱导处理则不能诱导它们的活性（$P>0.05$）。SA 途径的关键酶苯丙氨酸解氨酶（PAL）在西花蓟马取食和机械损伤后均有一个先升高后下降的过程，外源 MeSA 诱导只在 24 h 引起 PAL 活性升高，其余时间下和对照没有明显的区别，外源 JA 诱导未能引起 PAL 活性的显著变化（$P>0.05$）。西花蓟马取食、JA 和 MeSA 诱导以及机械损伤均能诱导 β-1,3-葡聚糖酶（PR-2）活性上升（$P<0.05$）。【结论】结果说明，不同处理可诱导菜豆植株产生明显的防御反应，但酶活性的变化与处理方式和处理时间有关。

关键词：西花蓟马；菜豆；昆虫取食；机械损伤；茉莉酸；水杨酸甲酯；防御酶；酶活性

中图分类号：Q968 **文献标识码：**A **文章编号：**0454-6296(2014)05-0564-08

Effects of thrips feeding, mechanical wounding, and exogenous methyl salicylate and jasmonic acid on defense enzyme activities in kidney bean leaf

CONG Chun-Lei, ZHI Jun-Rui*, LIAO Qi-Rong, MO Li-Feng (Guizhou Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of the Mountainous Region, Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract:【Aim】To investigate the biochemical mechanisms of defense responses of kidney bean to insect herbivory.【Methods】The activities of defense enzymes in kidney bean subjected to feeding by the western flower thrips (WFT), *Frankliniella occidentalis* (Pergande), mechanical wounding, and treatment of exogenous methyl salicylate (MeSA) and jasmonic acid (JA), respectively, were detected.【Results】The results showed that the peroxidase (POD) activities in kidney bean subjected to different treatments increased significantly compared to control. The POD activities induced by *F. occidentalis* feeding and mechanical wounding reached a peak at 72 h, while those induced by JA or MeSA reached a peak at 48 h. The proteinase inhibitor (PI) activities in kidney bean increased most obviously after thrips feeding. The activities of the key enzymes of JA pathway, lipoxygenase (LOX) and polyphenol oxidase (PPO), increased significantly after *F. occidentalis* feeding, mechanical wounding and JA induction, respectively, while MeSA did not induce their activities. The activities of phenylalnine ammonialyase (PAL), a key enzyme of SA pathway, increased firstly and then decreased in kidney bean subjected to thrips feeding or mechanical wounding. PAL activity induced by MeSA was significantly higher than the control at 24 h after treatment ($P<0.05$) but was similar to the control at other treatment time. JA induction failed to cause significant changes of PAL activity ($P>0.05$). Thrips feeding, JA induction, MeSA induction and mechanical wounding caused β-1,3-glucanase (PR-2) activities to increase significantly ($P<0.05$).【Conclusion】These results indicated that different treatments can induce

基金项目：国家自然科学基金项目（31160367）；贵州省国际合作项目（黔科合外 G 字[2011]7002 号）

作者简介：从春蕾，女，山东临沂人，1985 年生，硕士研究生，研究方向为昆虫生态学，E-mail：congchunlei@163.com

*通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhijunrui@126.com

收稿日期 Received: 2013-12-04；接受日期 Accepted: 2014-04-30